

백색부후균에 의한 크라프트 펄프 표백폐수의 탈색

조 남 석[†] · 이 재 원 · 박 종 문 · 최 태 호 · 안드레 레오노비치*

Decolorization of Kraft Pulp Bleaching Effluent by White-rot Fungi

Nam-Seok Cho[†], Jae-Won Lee, Jong-Moon Park, Tae-Ho Choi,
and Andrzej Leonowicz*

ABSTRACT

This experiment was to investigate decolorization characteristics of E1 effluents from the bleaching plant of pulp mill with three white-rot fungi(*Trametes versicolor*, *Ganoderma applanatum* and *Pleurotus ostreatus*). In addition the effect of carbon and nitrogen resources was discussed on its decolorization.

The color removal of E1 effluent during shaking and stationary cultures were 72% and 80%, respectively. Stationary culture was more effective on decolorization of E1 effluent compared to the shaking culture. The optimum inoculum weight was 1.0g based on dry weight of mycelia. The decolorization medium I showed 88% of the color removal of E1 effluent within one day cultivation of *T. versicolor* and *P. ostreatus*. Color removal was increased from 87% to 90% *T. versicolor* and *P. ostreatus* by the addition of 0.5% glucose. By addition of nitrogen sources(ammonium sulfate and ammonium chloride), medium was much higher than that of carbon source. With 0.1% ammonium sulfate, *P. ostreatus* and *T. versicolor* showed 94% and 92% of the color removal within one day of cultivation, respectively. On decolorization medium II, *T. versicolor* and *P. ostreatus* were 94% of color removal with addition of carbon source. The addition of nitrogen source was much more efficient than that of carbon source. With 0.1% ammonium chloride, *T. versicolor* and *P. ostreatus* showed 95% of its color removal. The decolorization medium II was higher color removal than medium I, and also MnP and laccase were produced. However, the decolorization medium I produced a little MnP and laccase activity. It could be suggested that MnP and laccase may play an important role in decolorization of E1 effluent.

• 본 연구는 '98한국과학재단 국제공동연구(985-0600-001-2)의 연구비 지원으로 수행되었음.

• 충북대학교 산림과학부(School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea).

* 폴란드 마리아-큐리대학교(Department of Biochemistry, Maria Curie-Skłodowska University, Place 3, PL 20031, Lublin, Poland).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: nscho@cbucc.chungbuk.ac.kr

1. 서론

펄프 제지산업에서는 목재로부터 종이를 만들기 위해 막대한 에너지와 많은 화학약품을 사용하고 있으며 세계적으로 펄프 제지산업에서 진한 색의 폐수는 연간 3×10^{12} L 이상이 발생한다.¹⁾ 펄프 제지산업은 방대한 양의 물을 사용하는 용수산업으로서 하천 BOD(biological oxygen demand; 생물학적 산소 요구량)의 90%가 펄프 제지산업으로부터 유래함이 보고되고 있다.³⁾ 화학펄프로서 가장 많이 생산되고 있는 크라프트 펄프의 거의 절반 가량이 표백을 하게 되며, 표백과정에서 펄프 중의 리그닌을 제거하기 위하여 염소계 약품을 사용하는 다단표백이 가장 효과적으로서 널리 이용되고 있다.

크라프트 펄프의 표백시 염소화단계 후 알칼리 추출에서 발생하는 폐수(E1)는 진한 암갈색을 띠고 있으며, 거품 형성으로 인하여 재사용되지 못하고 폐수로 배출되기 때문에 수질오염을 일으키는 주요 원인이 되고 있다. E1이 포함하고 있는 다양한 성분들로서는 용해물, 회분, 유기성분, tall oil, 환원당, 아세트산, 질소분 등을 함유하고 있다.⁴⁾ 이러한 성분 이외에도 E1 단 폐수는 진하게 착색되어 있으며, 이러한 색깔은 chromophoric group과 고분자량과 저분자량의 chlorolignin 유도체와 그 분해산물이 포함되어 있기 때문이다.¹⁷⁾ 펄프폐수색의 약 50%가 표백과정에서 생성되는데, 보통의 방법으로서 제거가 매우 곤란하다. 특히 일반적인 폐수처리방법으로는 탈색이 어려운 폐수의 색은 고분자의 리그닌 분해산물로부터 기인하므로 이러한 발색물질을 특이적으로 분해시키는 균주를 선별하여 경제적이고 무공해적인 폐수처리 시스템을 고안해야 한다.

이러한 표백폐수의 탈색을 위하여 백색부후균인 *Phanerocheate chrysosporium*뿐만 아니라 *Trichoderma* sp., *Coriolus versicolor* 등 여러 가지 백색부후균을 사용하여 BOD의 경우 폐수의 80%를 감소시켰고, *Trichoderma* sp.는 85% 감소를 가져왔다. 뿐만 아니라 현탁고형분의 감소는 물론 높은 탈색효과를 보이는 결과를 가져왔다.^{11,12)} LiP과 MnP는 *P. chrysosporium*에서 관찰되어졌으며 이들 효소에 대한 정보는 지난 10년 동안 연구되어져 왔다.^{7,17)} 소위 백색부후균이라 불리는 수많은 Aphylophorales목은

자연에서 리그닌 분해자로 알려졌으며, 이미 ligninolytic 효소를 분비하는 담자균류가 많이 보고되었다. Milstein 등¹⁴⁾은 Sphadex로 분리, 정제된 laccase를 이용하여 phenolic 화합물에 대한 축합반응을 이용해 폐수 정화를 실시해서 좋은 효과를 가져왔다. 즉 laccase는 소량의 기질하에서도 phenolic lignin 단위를 분해하는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 리그닌을 주로 분해하는 백색부후균을 이용하여 표백폐수 중 E1 단 알칼리 추출 폐수의 탈색특성에 미치는 영향을 조사하고, 탈색률을 높이기 위한 적정 탈색조건을 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시균주

충북대 월악산 연습림에서 채집, 분리한 *Trametes versicolor*(TRV), 임업연구원에서 분양받은 *Ganoderma applanatum*(GAP, FRI 20442) 및 *Pleurotus ostreatus*(PLO, FRI 20862)를 공시균주로 사용하였다.

2.2 탈색처리 및 효소활성

2.2.1 공시폐액

동해펄프 공장으로부터 분양받은 E1 단의 크라프트 펄프 표백폐액을 사용하였다. 폐액은 불순물을 제거하기 위해 여과지로 여과하고, 사용할 때까지 냉장고에 보관하였다.

2.2.2 탈색처리

2.2.2.1 탈색처리액의 조성

일반적인 균배양 조성을 가지는 탈색처리액 I (decolorizing medium, DM I, Table 1) 및 $MnSO_4$ 및 $CuSO_4$ 를 함유하는 탈색처리액 II (decolorizing medium, DM II, Table 2)를 사용하였다. laccase는 active site에 Cu^{+2} 이온을 갖는 금속 함유 효소로서 Cu^{+2} 가 laccase 활성에 영향을 주게 되기 때문이며, 따라서 탈색처

리액 II에는 CuSO₄를 첨가하였다. Mn-peroxidase 역시 Mn을 기질로 하는 효소로서 탈색처리액 II에 MnSO₄를 첨가하였다.

2.2.2.2 탈색처리법

MPG 평판배지에서 배양한 각각의 균주들을 1.0 cm 원판크기로 5개씩 취하여, 100 mL의 탈색처리액 I 및 탈색처리액 II에 접종 후, 29℃에서 균사가 배양기를 2/3 정도 덮을 때까지 배양하였으며, 그렇게 되는 데는 약 3-4일이 소요되었다. 이 배양액에 121℃에서 30분간 살균한 E1 폐액 50 mL를 가하고 pH를 4.5로 맞춘 후, 7일간 배양하였다. 탈색효과 및 효소활성 측정을 위하여 24시간 간격으로 10 mL씩 sample을 취하였다.

2.2.2.3 탄소원 및 질소원의 첨가 효과

1%의 탄소원(glucose)을 포함하고 있는 탈색처리액 I 및 탈색처리액 II에 E1 폐액을 넣고, 탄소원으로 glucose를 0.5%, glucose 대신 sucrose를 각각 1%, 1.5% 첨가하였으며, 질소원으로 ammonium chloride 및 ammonium sulfate를 0.1%, 0.5%를 각각 첨가하여 탈색효과를 측정하였다.

2.2.3 폐액의 color 측정

24시간 간격으로 취한 sample은 0.45 μm의

Table 1. Decolorization medium I

| Component | Concentration, g/L |
|---------------------------------------|--------------------|
| KH ₂ PO ₄ | 2.0 |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 0.5 |
| CaCl ₂ | 0.1 |
| Thiamine | 1.0 |
| Glucose | 10 |

Table 2. Decolorization medium II

| Component | Concentration |
|---|---------------|
| Glucose | 10 g/L |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 0.5 g/L |
| KH ₂ PO ₄ | 0.47 g/L |
| Na ₂ HPO ₄ · H ₂ O | 0.48 g/L |
| Ca(NO ₃) ₂ | 50 mg/L |
| MnSO ₄ | 8.5 mg/L |
| FeCl ₃ | 3.2 mg/L |
| Zn(NO ₃) ₂ | 2.0 mg/L |
| CuSO ₄ | 2.5 mg/L |
| Thiamin | 0.05 mg/L |

membrane filter를 사용하여 여과하였다. 여과된 sample 여액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hewlett Packard 8452A Diode Array Spectrophotometer)를 사용해 465 nm에서 흡광도(A₄₆₅)를 측정, 식 (1)에 의해 color unit(CU)로 계산하고,⁵⁾ 탈색률(Color removal : %)은 식 (2)로 계산하였다.

CU = 500 × A₄₆₅/0.132 식 (1)

Color removal(%) = 100 - ($\frac{\text{처리된 sample의 CU}}{\text{원액의 CU}}$ × 100) 식 (2)

2.2.4 효소활성 측정

2.2.4.1 Laccase 활성

배양기간별 laccase 활성은 syringaldazine을 반응기질로 하여 526 nm에서 180초 동안 흡광도를 측정하여 흡광도가 직선으로 증가하는 구간에서의 흡광도차(ΔA)와 그 반응시간을 이용하여 식 (3)에 의해 laccase의 활성을 구하였다.^{2, 16)}

$$\text{Enzyme activity(unit/mL)} = \frac{\Delta A_{526} \times \text{Total Vol(mL)} \times 106}{\epsilon \times \Delta t \times \text{sample Vol(mL)}} \dots \dots \dots \text{식 (3)}$$

ε: 65,000(Molar absorbance coefficient of syringaldazine, M⁻¹cm⁻¹)
 ΔA: Difference of absorbance at 526 nm
 Δt: Reaction time(min)

2.2.4.2 Mn-Peroxidase 활성

배양기간별 Mn-Peroxidase 활성은 MnSO₄를 기질로 하여 측정하였다. 270 nm에서 control과 sample의 흡광도를 측정하여 흡광도 차이(ΔA)를 이용해서 식 (4)에 의해 활성을 구하였다.¹⁶⁾

$$\text{Enzyme activity(unit/mL)} = \frac{\Delta A}{11.6} \times 1000 \times 1/5 \times 1000/100 \dots \dots \dots \text{식 (4)}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 공시균이 폐액의 탈색에 미치는 영향

3.1.1 정치배양과 진탕배양의 효과

각각의 공시균주에 대하여 탈색처리액 I (DM I)을 첨가하여 7일 동안 정치배양(stationery culture)과 진탕배양(shaking culture)하면서 탈색효과를 경시적으로 비교한 결과, *T. versicolor*, *G. applanatum*, *P. ostreatus* 모두 정치배양에서 좋은 탈색효과를 나타냈다(원액의 CU = 4000, 1일 후 CU = 779). 대부분 하루 만에 높은 탈색률을 나타냈으며, 정치배양의 경우 모두 80%(CU = 779) 이상의 탈색률을 보였다. 정치배양과 진탕배양의 탈색효과를 Fig. 1에 나타냈는바, 정치배양이 다소 높은 탈색률을 나타냈는데, 정치배양이 진탕배양보다 우수한 결과를 가져오는 이유는 진탕배양시 균사의 펠렛이 형성되어 균사체의 표면적이 줄어들어 리그닌의 분해효소 분비가 저해되기 때문으로 생각된다.

3.1.2 균사량에 따른 탈색효과

T. versicolor, *G. applanatum*, *P. ostreatus*를 각각 0.5 g과 1.0 g씩 접종, 정치배양하여 탈색효과를 조사하였고 그 결과를

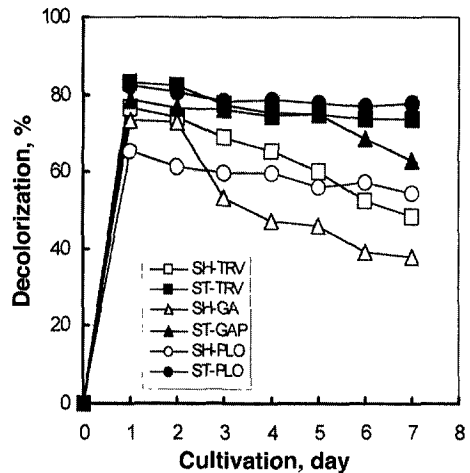


Fig. 1. Effect of shaking and stationary cultures on decolorization.

Table 3에 나타냈다. *T. versicolor*, *G. applanatum*, *P. ostreatus* 모두 균사량 1.0 g을 접종했을 때가 0.5 g을 접종했을 때보다 80% 이상의 높은 탈색효과를 보였다. *T. versicolor*, *P. ostreatus*은 하루 만에 88% 이상의 탈색효과를 보였다.

Table 3. The effect of mycelial weight on decolorization of E1 effluent (unit: %)

| Mycelial weight, g | 0.5 | 1.0 |
|-----------------------------|------|------|
| <i>Trametes versicolor</i> | 83.1 | 88.7 |
| <i>Ganoderma applanatum</i> | 78.4 | 82.7 |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | 82.4 | 89.0 |

3.2 탈색처리의 효과

3.2.1 탈색처리액 I에서의 탄소원 첨가 효과

탈색처리액 I에 공시균을 접종하기 위해 pH 4.5로 조절하고, 탄소원으로 단당류인 glucose와 2당류인 sucrose를 각각 첨가하였다. glucose 농도에 따른 탈색효과는 Fig. 2에 나타냈는 바, *T. versicolor*, *G. applanatum*은 1.5% 첨가시보다 높은 탈색효과를 나타냈으며(90%, 87%), 1% 첨가(control)일 때도 1.5%와 비슷한 효과(각각 88%, 82%)를 나타냈다. 하지만 *P. ostreatus*의 경우는 1%일 때 가장 높은 탈색효과(88%)를 나타냈다.

sucrose 역시 1% 첨가(control)시 공시균주 모두 높은 탈색효과(88%, 82%, 88%)를 나타냈다. 균주별로 비교한 결과, glucose를 첨가했을 때는 1.5%에서 *T. versicolor*이 90.48%로 가장 좋았으며 sucrose를 첨가했을 때는 1%에서 88.97%로 *P. ostreatus*가 가장 좋았다. glu-

cose와 sucrose를 비교하면 큰 차이는 없지만 glucose가 sucrose보다 약간 높은 탈색효과를 보였다.

3.2.2 탈색처리액 I에서의 질소원 첨가 효과

질소원으로는 ammonium sulfate와 ammonium chloride를 사용하였고 농도는 0.1%, 0.5%로 하여 탈색효과를 조사하였다. ammonium sulfate에 의한 결과는 Fig. 3의 왼쪽 그림에서 보는 바와 같이 소량의(0.1%) 질소원을 첨가해도 90% 이상의 탈색효과를 나타냈으며, *P. ostreatus*의 경우는 94%의 탈색률을 보였다. 하지만 질소원을 전혀 첨가하지 않았을 때도 Fig. 2에서처럼 90%에 가까운 탈색률을 나타냈다.

질소원으로서 ammonium chloride의 경우, 0.5% 첨가시 공시균주 모두 높은 탈색결과를(94%, 87%, 93%) 나타냈다. 하지만 *T. versicolor*의 경우 0.1%에서도 94%로 높은 탈색률을 결과하였다. ammonium sulfate와 ammonium chloride의 탈색을 비교하면 두 질소원 모두에서 *P. ostreatus*는 94% 이상의 높은 탈색을 보였다. ammonium sulfate는 0.1%일 때 가장 좋았다. 따라서 경제적인 면에서 최소의 영양분을 첨가한다는 점을 고려했을 때 *T. versicolor*을 제외하고 ammonium sulfate는 ammonium chloride에서보다 좋은 효과를 가져왔다.

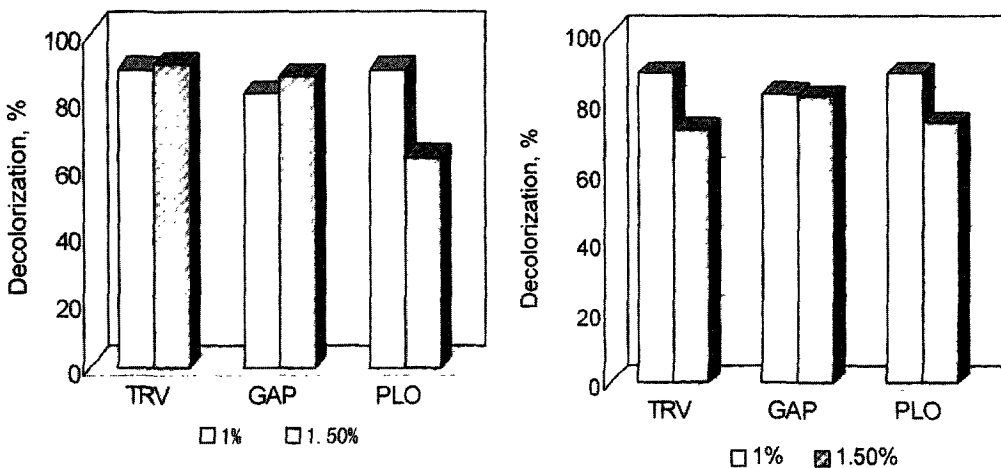


Fig. 2. Effect of glucose(left) and sucrose(right) addition on decolorization.

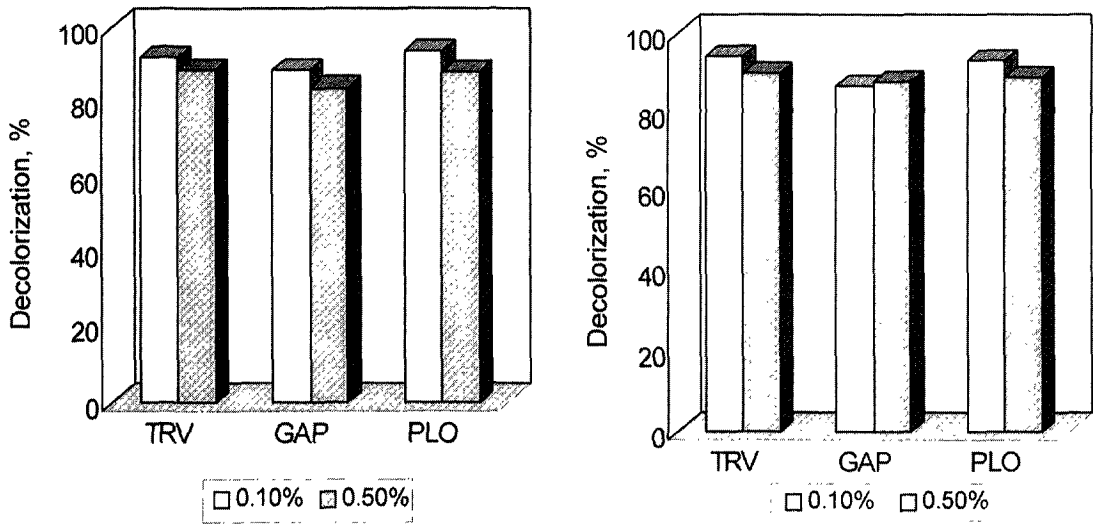


Fig. 3. Effect of ammonium sulfate(left) and ammonium chloride(right) addition on decolorization.

3.2.3 탈색처리액 II에서의 탄소원 첨가 효과

Lee^{9,10}에 의하면 *T. versicolor*의 laccase의 효소활성을 pH별로 조사한 결과 pH 5-9에서 매우 안정한 활성을 보였으며 pH 감소에 따라 효소활성의 안정성도 급속히 감소하였다고 보고하였다. Lee^{9,10} 등은 *P. ostreatus*의 효소활성에 적합한 pH는 4.7-8.72로, 비교적 넓은 범위에서

안정하였다고 보고하였으며, 최적 pH는 5.0-6.0 이었다. 따라서 탈색처리액 II의 pH를 5.3으로 조절하여 탈색에 관여하는 효소들의 활성을 높게 유도코자 하였다. 탄소원으로는 glucose와 sucrose를 사용하여 1%, 1.5%의 농도에서 탈색 효과를 조사하였다. glucose에 대한 결과는 Fig. 4에 나타냈는데 1%에서 공시균주 모두 높은 탈색 효과(92% 이상)를 나타냈으며, *P. ostreatus*는

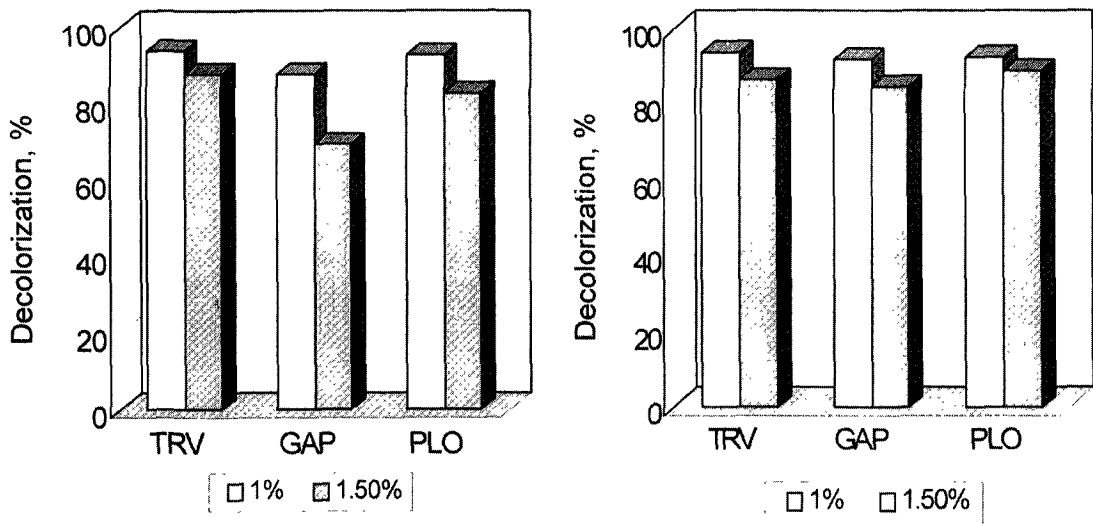


Fig. 4. Effect of glucose(left) and sucrose(right) addition on decolorization.

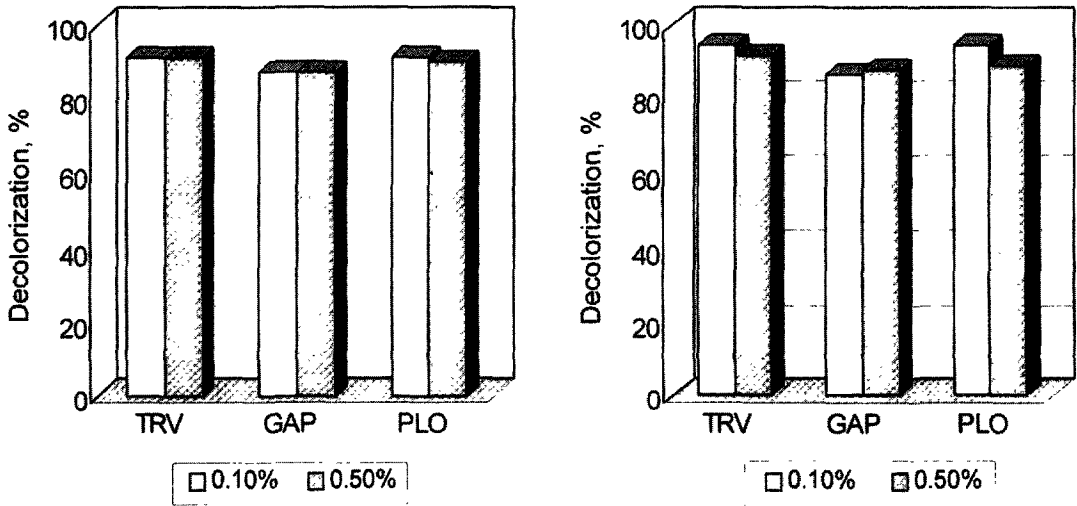


Fig. 5. Effect of ammonium sulfate(left) and ammonium chloride(right) addition on decolorization.

94% 이상의 높은 탈색률을 보여 주었다.

sucrose를 탄소원으로 하여 측정된 탈색효과는 *T. versicolor*가 94%로 가장 좋았으며 이때의 sucrose 농도는 1%였다. *G. applanatum*, *P. ostreatus*도 sucrose 농도가 1%일 때 각각 92%, 93%를 나타냈다. glucose와 sucrose 모두 1.0%에서 가장 좋은 효과를 나타냈으며, glucose와 sucrose 사이에는 큰 차이가 없었다. 균주별로 비교하면 모두 90% 이상의 탈색률을 나타냈으며, 그중에서도 *T. versicolor*, *P. ostreatus*가 높은 탈색률을 나타냈다.

3.2.4 탈색처리액 II에서의 질소원 첨가 효과

질소원으로는 ammonium sulfate와 ammonium chloride를 사용하였고, 농도는 0.1%, 0.5%로 달리하여 탈색효과를 조사하였다. ammonium sulfate 농도에 따른 탈색효과는 Fig. 5에 나타냈는 바, *T. versicolor*, *G. applanatum*는 0.5%일 때 각각 91%와 87%로 가장 좋았고 *P. ostreatus*는 0.1%일 때 91%로 가장 높았다. 하지만 *P. ostreatus*는 0.5%일 때도 90%로 높은 탈색률을 나타냈다.

ammonium chloride를 첨가한 경우, *T. versicolor*, *P. ostreatus*는 0.1%일 때 95%의 높은 탈색효과를 나타냈으며 *G. applanatum*

는 0.5%일 때 88%의 탈색률을 나타냈다. 질소원에 따른 탈색효과는 질소원을 전혀 첨가하지 않을 때 80-90%의 탈색효과를 보인 반면, 소량(0.1%)의 질소원 첨가에도 95%의 높은 탈색을 나타냈다.

3.2.5 탈색처리액 I과 탈색처리액 II의 비교

탈색처리액 I 및 탈색처리액 II에서 탄소원 첨가에 따른 탈색효과를 Fig. 6에 나타냈는 바, glucose, sucrose 탄소원에서 모두 탈색처리 I이 탈색처리 II에서보다 낮은 탈색률을 나타냈다. glucose를 첨가했을 때 균주별로 비교한 결과 탈색처리 II에서 *T. versicolor*, *G. applanatum*, *P. ostreatus*은 모두 92% 이상의 탈색률을 보였으며 그중에서도 *P. ostreatus*가 가장 높은 탈색률을 나타냈고, 탈색처리 I에서는 *T. versicolor*이 가장 높은 탈색률을 나타냈다.

sucrose를 첨가했을 때 역시 탈색처리 II에서 높은 탈색률을 나타냈으며, 탈색처리 I에서는 *P. ostreatus*가 탈색처리 II에서는 *T. versicolor*가 높은 탈색률을 나타냈다. 질소원 첨가에 의한 탈색효과를 보면 *G. applanatum*의 경우는 탈색처리액 I이 탈색처리액 II보다 높은 탈색률을 나타냈다. 하지만 ammonium chloride는 탈색처리액 II에서 더욱 좋은 효과를 나타냈다.

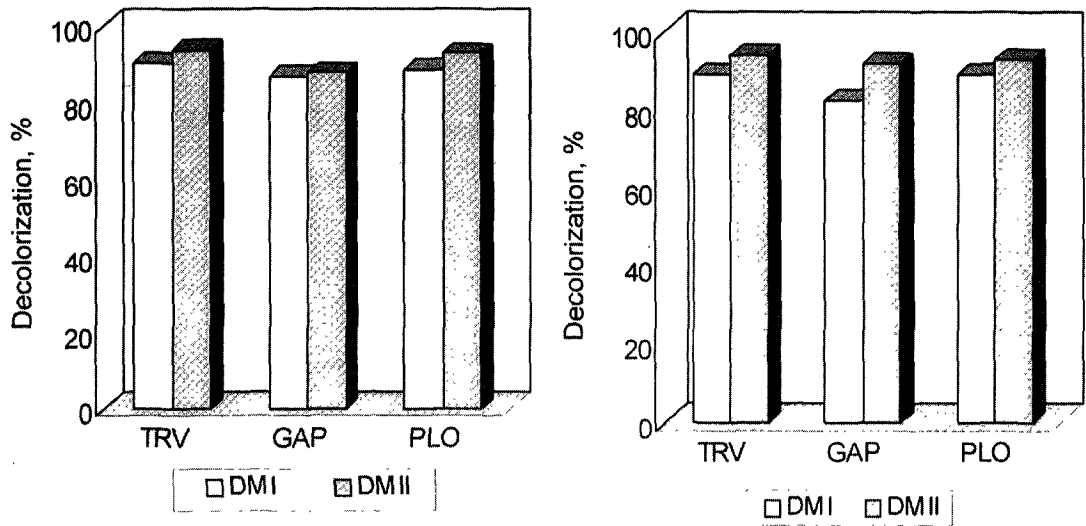


Fig. 6. Effect of glucose(left) and sucrose(right) additions on decolorization.

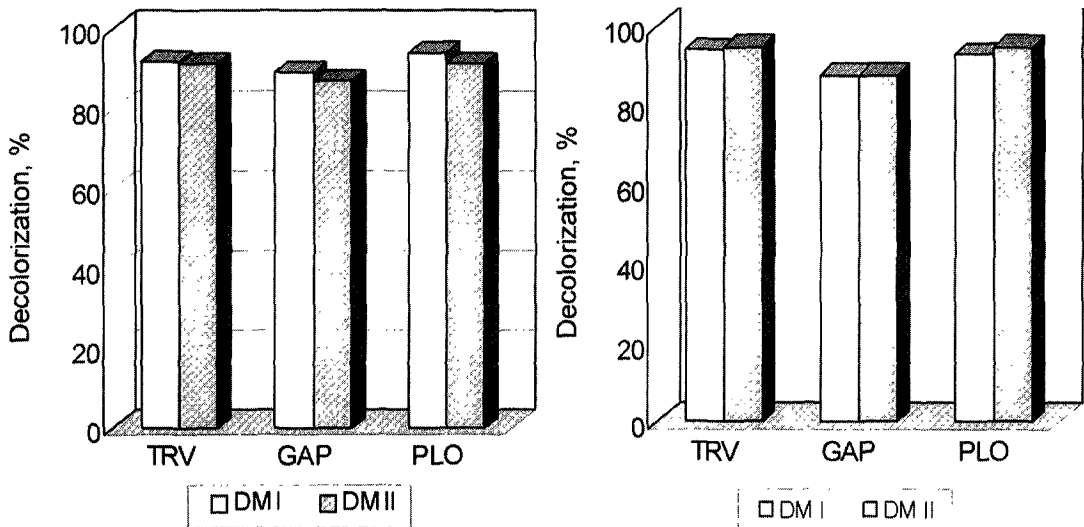


Fig. 7. Effect of ammonium sulfate(left) and ammonium chloride(right) additions on decolorization.

탈색처리액 I과 탈색처리액 II 사이에는 탈색처리액 II에서 비교적 높은 탈색효과를 보여 주었다. 탈색처리액 II가 높은 탈색효과를 나타낸 이유로서는 소량의 Cu 및 Mn을 첨가하였기 때문으로 생각되며, 이러한 미량 성분이 탈색에 관여하는 laccase 및 Mn-peroxidase(Mn-P)와 같은 효소의 활성화에 영향을 준 것으로 판단된다.

3.3 탈색과정에서의 효소활성 변화

laccase와 MnP는 phenolic 기질에서만 산화반응을 한다는 것으로 밝혀졌으며, *Phenerochaete chrysosporium*으로 탈색을 실시한 결과, 리그닌 분해효소들 중에서도 laccase와 MnP는 발견할 수 있었지만 lignin peroxidase(LiP)의 활성화는 나타나지 않았음이 확인

되었다.^{6,14)} 따라서 탈색에 관여하는 효소는 리그닌 분해효소들 중에서도 laccase와 MnP라는 것을 알 수 있었다. 처리액 조성을 달리하여 탈색효과를 조사한 이유는 laccase와 Mn-peroxidase의 활성이 탈색처리액에 따라 어떠한 차이를 보여주는가를 알아보기 위해서였다.

3.3.1 Laccase의 활성

탈색처리액 I과 탈색처리액 II에서 laccase의 활성을 조사한 결과, Fig. 8에서 보는 바와 같이 공시균주 모두 탈색처리 II에서 높은 laccase 활성을 나타냈다. 이것은 탈색처리액 II에 포함되어 있는 CuSO₄, MnSO₄의 첨가 효과에 의한 것으로 생각된다. 탈색처리액 I에서보다 탈색처리액 II에서 다소 높은 탈색률을 나타냈는데, 그 이유로서는 laccase 및 Mn-peroxidase 효소가 폐수의 탈색에 관여하였음을 뒷받침하고 있다. 그러나 효소의 활성이 높은 만큼 높은 탈색률의 차이가 인정되지 아니하여 효소의 영향에 대해서는 금후의 검토가 인정된다.

laccase 효소활성은 *T. versicolor*가 0.06 U/mL로 가장 높았으며, 이때의 탈색률은 89.01%로 다른 균에 비해 높게 나타났다. 반면 *G. applanatum*은 효소활성이 0.02 U/mL로서 85%의 가장 낮은 탈색률을 나타냈다. 탈색처리액 I과 탈색처리액 II에서 ammonium chloride 0.1% 첨가시 laccase의 활성은 탈색

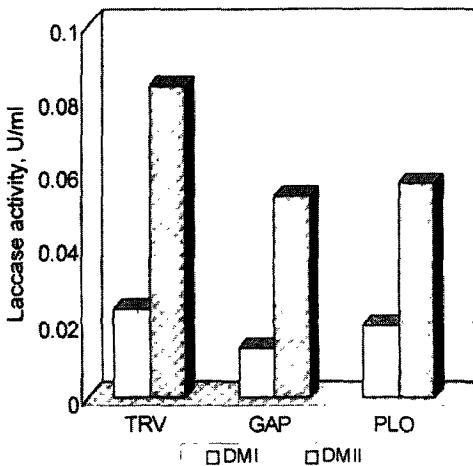


Fig. 8. Laccase activities of media during decolorization.

처리액 II에서 높게 나타났다. *T. versicolor*의 경우는 0.08 U/mL로 가장 높은 활성을 보였으며, *G. applanatum* 및 *P. ostreatus*는 0.05 U/mL 부근의 비교적 낮은 활성을 나타냈다.

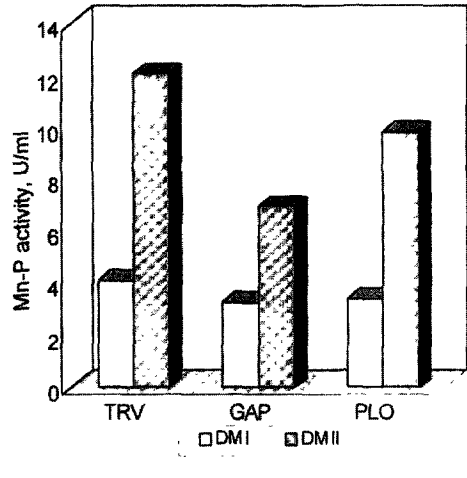


Fig. 9. Mn-Peroxidase activities of media during decolorization.

3.3.2 Mn-peroxidase의 활성

탈색처리액 I과 탈색처리액 II의 효소활성 비교는 Fig. 9에 나타냈는데, 탈색처리액 I에서보다 탈색처리액 II에서 Mn-P 활성이 높게 나타났다. 공시균주 중에서 *P. ostreatus*는 탈색처리액 II에서 매우 높은 활성을 보인 반면, *G. applanatum*은 가장 낮은 활성을 보였다. 0.1%의 ammonium chloride를 첨가한 경우 탈색처리액 I에서보다 탈색처리액 II에서 높은 활성을 나타냈으며, 공시균주 중에서도 *T. versicolor*가 가장 높은 탈색률을 나타냈고, *G. applanatum*의 활성이 가장 낮았다. 위의 탈색효과와 비교했을 때 활성이 높은 균주들은 다소간 높은 탈색효과를 나타냈으나, 효소의 영향을 인정할 만큼 큰 탈색효과가 인정되지 못하였다.

4. 결론

본 연구에서는 환경문제에 원인을 제공하는 크라프트 펄프 표백폐액(E1)의 탈색과 관련하여 백

색 부 후 균 인 *Trametes versicolor*, *Ganoderma applanatum*, *Pleurotus ostreatus*를 공시균주로 하여 탈색효과를 조사하였다.

탈색처리액 I에 의한 탈색효과는 *T. versicolor*와 *P. ostreatus*가 88%로 높게 나타났다. 그러나 탄소원·질소원 첨가 없이도 80%에 이르는 높은 탈색효과를 나타냈다. 탄소원으로 glucose와 sucrose는 모두 비슷한 탈색효과를 보였지만 glucose에서 약간 높은 효과를 나타냈다. 탈색은 모든 처리에서 거의 하루 만에 탈색률이 80% 이상으로 이루어졌고, 그 이후에 탈색률의 증가는 보이지 않았다. 탈색처리액 I의 경우, 공시균주 모두 ammonium sulfate 첨가시 90~94%의 높은 탈색률을 나타냈으며, ammonium chloride 첨가에서도 *T. versicolor*, *P. ostreatus*는 90% 이상의 탈색효과를 나타냈다. 탈색처리 I에서는 탄소원보다 질소원의 첨가에 의해서 더욱 높은 탈색률을 나타냈으며, 소량의 (0.1%) 질소원을 첨가하더라도 높은 탈색률을 얻을 수 있었다. 탈색처리액 II의 경우, glucose와 sucrose는 비슷한 탈색효과를 가져왔으며, *T. versicolor*, *P. ostreatus*는 94%의 높은 탈색률을 나타냈고 *G. applanatum*는 92%의 탈색률을 나타냈다. 질소원으로서 ammonium sulfate 첨가보다는 ammonium chloride 첨가에서 높은 탈색효과를 나타냈으며, *T. versicolor*, *P. ostreatus*는 0.1%에서 95%의 탈색률을, *G. applanatum*은 0.5%에서 88%의 탈색효과를 보였다.

탈색처리액 I과 탈색처리액 II의 탈색효과를 비교하면, 전체적으로 탈색처리액 II에서 다소 높은 탈색률을 나타냈는데, 탈색처리액 I 및 II에서 laccase와 Mn-P 활성을 조사한 결과, 탈색처리액 II에서 laccase, Mn-P의 활성이 탈색처리액 I에서보다 높게 나타났다.

결론적으로 *T. versicolor*, *P. ostreatus*가 우수한 탈색능을 가지는 균주로 밝혀졌으며 탈색처리 II에서(glucose 1%) ammonium chloride 0.1%를 첨가한 처리가 가장 높은 탈색효과를 나타냈다. 아울러 이때의 효소활성(laccase와 Mn-peroxidase)이 높았던 사실로부터 이 양 효소가 탈색에 관여하고 있는 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

1. Charles, J. J., Gloria, J., and Michel, J. P., *J. Biotechnology* 37:229 (1994).
2. Choi, D. H., The Degradation of lignin by laccase from *Pleurotus cornucopia*(Pers.) Rolland, 서울대학교 박사학위 논문 (1993).
3. Christer, J., *Tappi J.* 21(1):48 (1989).
4. Eaton, D., Chang, H. M., and Joyce, T. W., Jeffries T. W., Kirk T. K., *Tappi* 65(6):89 (1982).
5. Eaton, D., Chang, H. M., and Kirk, T. K., *Tappi* 63(10):103 (1980).
6. Joshi, D. K., and Gold, M. H., *J. Appl. Environ. Microbiol.* 59:1779 (1993).
7. Kirk, T. K., and Farrell, R. L., *Annual Review of Microbiology* 41:465 (1997).
8. Kirk, T. K., and Eriksson, K. K., *제지계* 8:64 (1991).
9. Lee, E. J., *Pleurotus ostreatus* 균주에 의한 Laccase의 생산과 효소적 특성, 영남대학교 석사학위 논문 (1983).
10. Lee, J. S., Park, K. S., and Park, Y. D., *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.* 14(2):139 (1986).
11. Messner, K., Ertler, G., Jaklin-Farcher, S., Boskovsky, P., Regensberger, U., and Blaha, A., "Biotechnology in Pulp and Paper Manufacture" Kirk, T. K., and Chang, H. M., eds, Butterworth-Heinemann, pp. 245-252, Stoneham (1990).
12. Michael, G., Paice, C. H., and Lubomir, J., *Tappi J.* 73(8):147 (1990).
13. Michel, F. C., Dass, S. B., Grulke, E. A., and Reddy, C. A., *Appl. Environ. Microbiol.*, 57:2368 (1991).
14. Milstein, O., B., Nicklas, J., and Trojanowski, A., 1989 International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, pp. 317-324.
15. Nishida, T., Kashino, Y., Mimura, A., and Takahara, Y., *Mokuzai Gakkaish* 34(6):530 (1988).
16. Plaetz, F., Martinez, M. J., and Martinez, A. T., *Mycol. Res.* 99(1):37 (1995).

17. Schoemaker, H. E., Tuor, U., Muheim, A., Schmidt, H. W. H., and Leisola, M. S. A., White-rot degradation of lignin and xenobiotics in biodegradation : *Natural and*

Synthetic Materials (ed. Betts, W.B), Springer-Verlag, pp. 157-174, London (1991).